

DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y URBANOS CON FINES DE FERTILIZACIÓN

Eddi Alejandro Vanegas Chacón.



Resumen:

Diferentes tipos de residuos *in natura* (harinas y tortas) y en la forma de compuestos (residuo domiciliar y lodo residual) fueron caracterizados química y bioquímicamente, siendo evaluados respecto a su descomposición, cuando incorporados a muestras de suelos del horizonte B de un Oxisol (Latosolo Vermelho-Amarelo) sin corrección de acidez en condiciones de ambiente controlado. La descomposición fue determinada a través de respirometría para un período de incubación de 30 días. Las harinas de huesos y carne y huesos presentaron mayores cantidades totales de N, P y Ca, con relación Ca/P de la orden de 2:1. Los compuestos de lodo residual y residuo domiciliar mostraron las menores relaciones C/N/P/S y por tanto mayor potencial de mineralización. El compuesto de re-

residuo domiciliar presentó menor cantidad de C orgánico total, pero con mayor índice de humificación cuando comparado con el residuo domiciliar. Respecto al potencial de mineralización de N, el lodo residual presentó mayor cantidad de N total y N en las fracciones húmicas cuando comparado con el residuo domiciliar. No obstante, estos compuestos presentaron relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, lo que implica la presencia de formas orgánicas de N fácilmente biodegradables en los dos tipos de compuestos. Los valores acumulados de C-CO₂ presentaron correlación positiva con las cantidades de C soluble en agua ($r = 0,57^{**}$) y carbohidratos ($r = 0,69^{**}$), así como correlación negativa con la relación C/N ($r = -0,56^{**}$). En este experimento no se determinó correlación entre descomposición y cantidad de polifenoles solubles. Residuos *in natura* presentaron mayor evolución acumulada de C-CO₂ en comparación a los residuos en la forma de compuestos, los resultados fueron ajustados satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill, indicando altas tasas de respiración para el tratamiento con harina de carne y huesos sugieren inmovilización inicial de nutrientes (N,P,S) en relación a los residuos en la forma de compuestos.

Palabras clave: residuos industriales y urbanos, respiración del suelo, fraccionamiento de sustancias húmicas.

Introducción

La producción de residuos está estrechamente relacionada con el crecimiento poblacional e industrial en todo el mundo. Existe preocupación en cuanto al destino final de estos residuos para

minimizar la contaminación ambiental. Entre otros puede mencionarse la incineración, peletización y producción de energía. No obstante, el reciclado vía agrícola (fertilización de plantas, recuperación de áreas degradadas y elaboración de compuestos) tiene mayor potencial debido al incremento de la calidad física, química y biológica del suelo (Melo & Marques, 2000; Jorge et al., 1991; Aggelides & Londra, 2000). Para el uso agrícola de los residuos y compuestos se hace necesario conocer sus características químicas y bioquímicas, se sabe de la presencia de patógenos y parásitos en los lodos residuales, así como de metales pesados en residuos provenientes de áreas industriales (Xin et al., 1992), por lo que su utilización está condicionada al monitoreo de su calidad química e microbiológica (Kabata & Pendias, 2000). Los residuos agroindustriales han sido utilizados con éxito en plantaciones forestales en regiones templadas (Gonçalves et al., 2000), ya en los trópicos su uso es restricto y poco estudiado en condiciones de campo por periodos largos de tiempo, no obstante existe evidencia de su uso tanto en el área forestal (Vaz & Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004), como agrícola (Oliveira et al., 1995).

Reconociendo su potencial como alternativa en el mantenimiento de cantidades adecuadas de materia orgánica en el suelo, el uso eficiente de los residuos derivados de actividades antrópicas se debe iniciar por el conocimiento de sus características químicas y bioquímicas en el estado *in natura*, así como grado de estabilidad y madurez cuando son utilizados en la forma de compuestos. Partiendo de la hipótesis de que el tipo de residuo interfiere en la dinámica de descomposición, esta investigación caracterizó residuos *in natura* y en la forma de compuestos, a fin de evaluar su descomposición cuando son incorporados al suelo en ambiente controlado.

Materiales y métodos

Mediante muestro casual simple fueron colectadas cinco muestras de 320 cm³ por material muestreado que fueron usadas posteriormente para la obtención de una muestra compuesta. Los residuos *in natura* y en la forma de compuestos fueron colectados en los Estados de Minas Gerais (MG) y São Paulo (SP) en Brasil (Cuadro 1).

Cuadro 1. Lugares de coleta de los residuos.

Material	Local de colecta	Municipio
Harina de huesos	Bom Despacho	Bom Despacho - MG
Harina de huesos y carne	Indústria PIF-PAF	Ubá - MG
Compuesto de lodo residual	Estação de saneamento	Viçosa - MG
Compuesto de residuo domiciliar	Estação de tratamento de lixo	Coimbra - MG
Torta de mamona	Indústria e comércio de óleos	Itapeva - SP
Torta de filtro	Usina de Jatiboca	Ponte Nova - MG

Para caracterización química, tres submuestras de cada tipo de residuo fueron secadas en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas, molidas y pasadas en tamiz con malla de 2 mm. Se cuantificó materia orgánica total, por el método de ignición (Kiehl, 1985); cantidad de carbono orgánico total, por oxidación húmeda con calentamiento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, por el método Kjeldahl; elementos totales después de digestión nítrico-perclórica, determinando en los extractos las cantidades de S por espectrometría de emisión de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometría de absorción atómica; K, por espectrometría de emisión de llama; e P, por colorimetría (Murphy & Riley, 1962).

Con base en los resultados de C y macronutrientes se formaron grupos diferentes de residuos, utilizando análisis multivariado, con

la técnica de componentes principales (Ribeiro Junior, 2001). Después del agrupamiento se seleccionó un residuo representativo de cada grupo para la caracterización bioquímica y experimento de respirometría. Como parte de la caracterización bioquímica se cuantificó el C soluble en agua, por colorimetría, utilizando Mn(III)-pirofosfato en medio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); carbohidratos totales solubles, por el método de la antrona (Brink et al., 1960); polifenoles totales solubles, extraídos con metanol (50%) y determinados por colorimetría, utilizando el reactivo de Folin-Denis; y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína, por el método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1989). Adicionalmente, para los residuos en la forma de compuestos se realizó el fraccionamiento de las sustancias húmicas por solubilidad diferencial, utilizando los conceptos de fracciones húmicas establecidos por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas, descritos por Hayes et al. (1989); en esas fracciones fueron determinadas las cantidades de C (Yeomans & Bremner, 1988); N total, por el método Kjeldahl y el índice de humificación por la ecuación:

$$IH = \left(\frac{FAf + FAh}{C \text{ total}} \right) 100$$

Donde:

IH = índice de humificación;

FAf = fracción ácidos fúlvicos;

FAh = fracción ácidos húmicos; y

C total = carbono orgánico total.

En el experimento de respirometría se utilizaron muestras de un suelo seco y tamizado con malla de 2 mm, proveniente del horizonte B de un Oxisol (Latossolo Vermelho-Amarelo), textura ar-

cillosa, sin corrección de acidez y con las siguientes características: pH en agua de 4,57; 0,6 mg P dm⁻³; 6 mg K dm⁻³; (H+Al) de 5,9 cmol_c dm⁻³; suma de bases intercambiables (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidad de intercambio catiónico (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidad máxima de adsorción de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹; y cantidad de materia orgánica de 3,08 dag kg⁻¹. La masa equivalente a 2 g de C de cada residuo fue mezclada a 100 g de suelo seco (Paul & Clark, 1996) y colocada en botes plásticos cilíndricos, con 15 cm de altura y 10 cm de diámetro (unidad experimental). También fue incluido un testigo (suelo). El experimento fue conducido durante 30 días con humedad equivalente a 80% de la capacidad de campo en cámara de incubación a 25 ± 1°C, en delineamiento experimental completamente al azar con cuatro repeticiones.

En las unidades experimentales fueron colocados vasos plásticos de 50 cm³, donde el C-CO₂ respirado fue capturado en solución de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonato con la adición de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ y determinado por titulación con HCl 0,25 mol L⁻¹. Se cuantificó cada dos días (siete determinaciones) inicialmente y a cada tres días (cinco determinaciones) posteriormente. La masa de C-CO₂ evolucionada fue expresada en términos absolutos (Anderson, 1982) y la cinética de descomposición se ajustó al modelo de saturación de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^{\delta}}{\gamma + X^{\delta}} + \varepsilon$$

Donde:

Y = C-CO₂ evolucionado (mg/100 g de suelo);

α = parámetro relativo a la asíntota, que caracteriza la saturación;

γ = parámetro de crecimiento de la función o constante del proceso;

δ = orden aparente del proceso;

X = tiempo; y

ε = error.

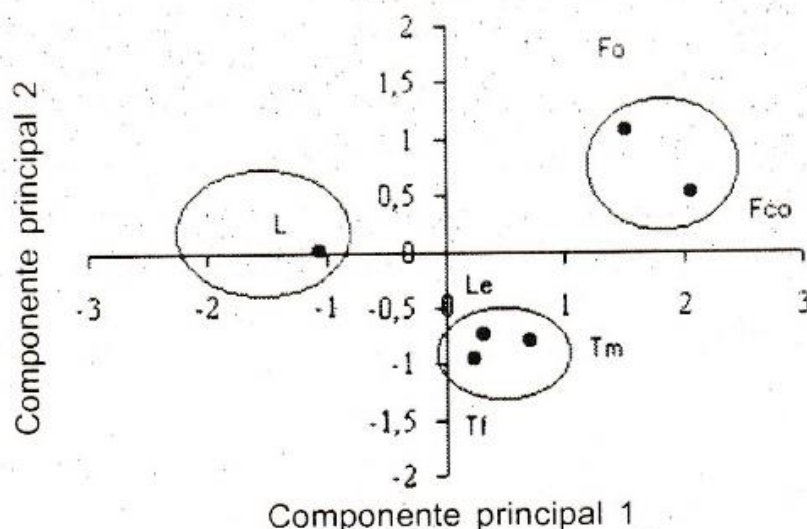
En los análisis estadísticos se utilizó el esquema de parcelas subdivididas en función del tiempo, en el cual los materiales seleccionados correspondieron a las parcelas y las evaluaciones sucesivas a las subparcelas. Análisis de varianza, prueba de medias (Tukey, 0,05) y regresión no lineal fueron realizados utilizando el programa SAEG de la Universidad de Vicosa, MG, Brasil.

Resultados y discusión

Los residuos mostraron variación en sus características químicas (Cuadro 2). Las cantidades medias de C orgánico fueron de la orden de 48 dag kg⁻¹. La harina de carne y hueso y la torta de mamona presentaron las mayores cantidades de N e Mg; la harina de huesos y la harina de carne y hueso presentaron las mayores cantidades de P e Ca, con relación Ca/P de la orden de 2; el lodo residual la mayor cantidad de S y la torta de mamona la de K. En media, los residuos presentaron relación C/N < 20; relação C/P < 200 e relação C/S < 250, indicando potencial de mineralización de N, P e S a corto plazo (Stevenson & Cole, 1999). Según la legislación del Ministerio de la Agricultura brasileño para abonos orgánicos simples y compuestos (Brasil, 2004), la cantidad de materia orgánica, de N total y relación C/N de los residuos estudiados está dentro de los parámetros establecidos, no obstante son residuos (>25%) y compuestos (>40%) con alto porcentaje de humedad, con excepción de la harina de huesos, la torta de mamona y el compuesto de residuo domiciliar.

Los grupos formados mediante técnica de componentes principales fueron: grupo 1- harina de huesos y harina de carne y huesos; grupo 2- torta de mamona, torta de filtro y compuesto de lodo residual; y grupo 3- compuesto de residuos domiciliarios, Figura 1.

Figura 1. Dispersión y agrupamiento por similitud Fo: Harina de huesos; Fco: Harina de carne y huesos; Le: Lodo residual; Tm: torta de mamona; Tf: torta de filtro; L: residuo domiciliar.



Las variables con mayor contribución en el agrupamiento fueron las cantidades de P (24%), Ca (20%) y C (14%). Para el estudio de descomposición los residuos seleccionados fueron: grupo 1- harina de carne y huesos; grupo 2- compuesto de lodo residual; y grupo 3- compuesto de residuo domiciliar, la caracterización bioquímica es presentada en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Caracterización bioquímica de residuo y compuestos.

Material	Cag	POL	CARB	BSA
	— % —		— µg mg ⁻¹ —	
Harina de carne y huesos	1,02	0,25	0,39	24,09
Compuesto de residuo domiciliar	0,34	0,37	0,08	6,68
Compuesto de lodo residual	0,52	0,43	0,09	6,63

Cag: carbono soluble en agua; POL: polifenoles totales solubles; CARB: carbohidratos totales solubles; BSA: capacidad de los polifenoles en complexar proteína.

La harina de carne y hueso presentó una fracción rica en formas de C fácilmente biodegradable, no obstante su matriz orgánica sea constituida de materiales grasos (Kiehl, 1985), con menor cantidad de polifenoles solubles, pero con capacidad intermedia-

ria de complexar proteína. Los compuestos de residuo domiciliar y lodo residual presentaron las menores cantidades de C soluble en agua y de carbohidratos, producto de su estabilidad, con cantidades intermediarios de polifenoles, pero con menor capacidad en complexar proteína en relación a la harina de carne y huesos (Kiehl, 2005).

Cuadro 2. Características químicas (resultados con base en la materia seca) y humedad de los residuos *in natura* y en la forma de compuestos

Variable	Unidad	Material						Media	CV (%)
		Harina de huesos	Harina de Carne y huesos	Torta de mamo-na	Torta de filtro	Lodo residual	Resi-duc domiciliar		
MO	dag kg ⁻¹	35.09	51.87	61.75	71.58	47.75	20.2	48.04	38
C	dag kg ⁻¹	23.83	30.59	26.64	35.89	27.6	13.11	26.28	29
N	dag kg ⁻¹	4.2	5.55	5.16	1.73	3.47	0.87	3.50	53
P	dag kg ⁻¹	11.33	10.22	1.05	1.91	1.34	1.09	4.49	109
S	dag kg ⁻¹	0.14	0.26	0.3	0.34	1.19	0.24	0.41	102
C/N		7	6	6	24	9	18	11.67	65
C/P		5	8	66	49	53	31	35.33	71
C/S		454	314	237	281	62	146	249.00	55
Ca	dag kg ⁻¹	22.36	17.89	1.96	0.88	0.75	1.81	7.61	129
Mg	dag kg ⁻¹	0.44	0.35	1.32	0.1	0.23	0.3	0.46	94
K	dag kg ⁻¹	0.07	0.19	0.85	0.16	0.12	0.61	0.33	96
Humedad	%	7.29	50.64	8.23	70.45	52.09	22.06	35.13	75

MO: materia orgánica.

CV: coeficiente de variación entre los diferentes residuos.

El compuesto de residuo domiciliar cuando comparado con el compuesto de lodo residual presentó menor cantidad de C or-

gánico total, mayor cantidad de C en la fracción ácidos fúlvicos, cantidad similar en la fracción ácidos húmicos y aproximadamente la mitad en la fracción humina, con mayor índice de humificación, lo que indica la presencia de formas de carbono de fácil degradación (Cuadro 4). En cuanto al potencial de disponibilidad de N, el lodo residual presentó mayor cantidad de N total e N en las fracciones ácidos fúlvicos, húmicos y humina cuando comparado con el residuo domiciliario. No obstante, estos compuestos presentaron relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, indicando formas orgánicas de N fácilmente biodegradable.

Cuadro 4. Cantidades de carbono y nitrógeno total y en las fracciones húmicas extraídas de los compuestos de residuo domiciliario y lodo residual.

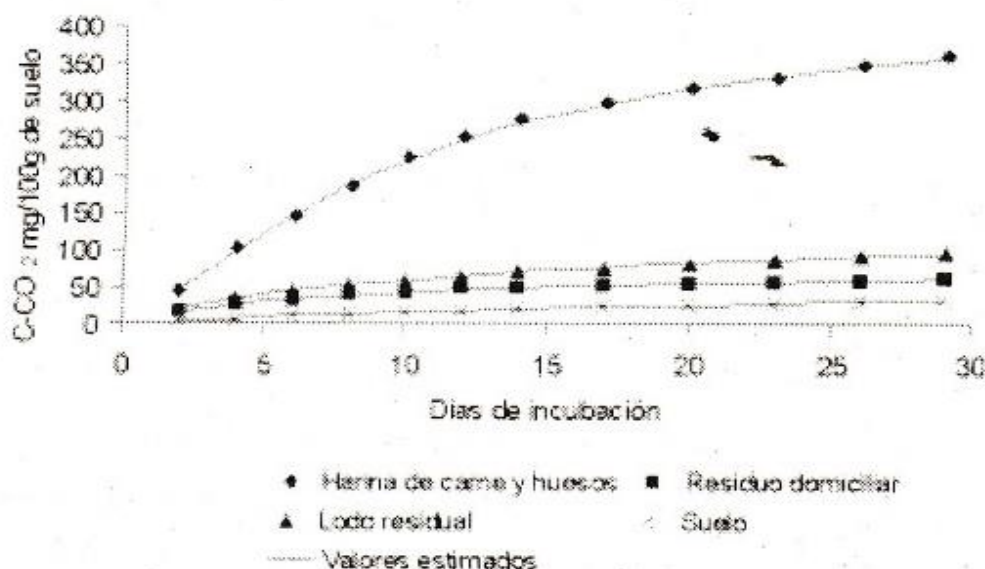
Carbono	C	FAf	FAh	FH	IH	FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹		%	
Residuo domiciliario	13,11	15,80	6,20	106,60	16,78	0,39
Lodo residual	27,60	10,30	5,60	255,80	5,76	0,54
Nitrógeno	N	FAf	FAh	FH		FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹			
Residuo domiciliario	0,87	1,30	1,10	5,70		0,85
Lodo residual	3,47	4,30	3,70	25,50		0,86

C: carbono total; N: nitrógeno total; FAf: fracción ácidos fúlvicos; FAh: fracción ácidos húmicos; FH: fracción humina; FAh/FAf: relación de las fracciones ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. IH: índice de humificación.

Respecto a la evolución de C-CO₂, el tratamiento con harina de carne y huesos presentó mayor proporción de C fácilmente biodegradables (Figura 2). La matriz orgánica de la harina de carne y hueso (34% de su constitución) esta compuesta de

7% de materia grasa y 27% de oseína con 5% de nitrógeno (Kiehl, 1985), con cantidades de aminoácidos proporcionales a las cantidades de proteína bruta (Rostagno et al., 2000), presenta una fracción de fácil biodegradación a corto plazo, no obstante se caracteriza por ser un material de difícil descomposición, por lo que puede ser utilizado como abono en plantaciones forestales (Malavolta, 1981). Técnicas de des-gorduración (Tedesco et al., 1999) y pirolisis (Deydier et al., 2005) son recomendadas para facilitar su descomposición e incrementar ganancias en su comercialización como abono para cultivos agrícolas de ciclo corto.

Figura 2. Producción acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de suelo) durante el período de incubación.



Considerando una eficiencia de asimilación de C por los microorganismos de 40% (Siqueira, 1988), se estima que entre 2,57 e 27,59 % del C adicionado por medio de los diferentes tratamientos fue oxidado durante el proceso de descomposición (Cuadro 5). Los tratamientos con compuestos presentaron las menores proporciones de C oxidado, probablemente por la presencia de formas estables de C (Kiehl, 2005).

Cuadro 5. Evolución y oxidación de carbono del suelo durante el periodo de incubación. C-CO₂: carbono absoluto evolucionado; C: carbono asimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO₂ox: total oxidado relativo.

Tratamiento	C-CO ₂	C	Cox	C-CO ₂ ox
	— mg —	%		
Harina de carne y huesos	363,48 a	242,32	605,8	27,59
Residuo domiciliario	63,24 d	42,16	105,4	2,57
Lodo residual	97,44 c	64,96	162,4	5,42
Suelo	32,40 e	21,6	54	

$$\text{Cox} = \text{C-CO}_2 + \text{C}$$

$$\% \text{ C-CO}_2\text{ox} = \frac{(\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado del suelo + material}) - (\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado del suelo - material})}{\text{C adicionado por el material}} \cdot 100$$

En la columna, los valores medios seguidos de por lo menos una misma letra no diferencian entre sí por la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

La producción acumulada de C-CO₂ evolucionado se ajustó satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill (Cuadro 6). Los mayores valores para la saturación (parámetro α) fueron estimados para los tratamientos con la harina de carne y huesos indicando que este residuo posee mayor proporción de C fácilmente oxidable. Existió variación en la constante de evolución (parámetro γ), sugiriendo que esta fue sensible a las características cualitativas entre los residuos. Portanto, la cinética de evolução mostró diferentes tendencias de crecimiento aparente (parámetro δ). La estimativa de la tasa máxima de evolución de C-CO₂ se correlacionó positivamente con los valores observados acumulados de la evolución ($r = 0,93^{**}$) sugiriendo su utilización como indicador de labilidad de los residuos estudiados. Esta tasa fue alcanzada entre los cinco y siete días de incubación para los tratamientos con harina de carne y huesos, compuesto de residuo

domiciliar y lodo residual, corroborando la existencia de una fracción de fácil degradación en la harina de carne y hueso. No se observó asociación entre la descomposición y la cantidad de polifenoles solubles, esto puede explicarse porque los residuos *in natura* estudiados en esta investigación presentaron menores cantidades de polifenoles pero con alta capacidad de complexar proteína.

Cuadro 6. Estimadores de los parámetros, intervalos de confianza asintóticos (IC): límite inferior (LI) e límite superior (LS), cuadrado del coeficiente de correlación (R^2), día en que ocurrió la tasa máxima de evolución y la tasa máxima de evolución de C-CO₂ de conformidad con el modelo de Hill.

Tratamiento	Estimadores de los parámetros ⁽¹⁾	IC		R^2	Días	Tasa máxima de C-CO ₂ mg d ⁻¹
		LI	LS			
Harina de carne y huesos	$\alpha = 445,10$	422,50	467,70	0,96	7	108,60
	$\gamma = 22,61$	19,60	25,61			
	$\sigma = 1,35$	1,26	1,45			
	$\alpha = 90,00$	83,44	96,84			
Compuesto de residuo domiciliar	$\gamma = 7,29$	6,92	7,66	0,99	5	28,32
	$\sigma = 0,83$	0,77	0,89			
	$\alpha = 175,50$	140,60	210,40			
Compuesto de lodo residual	$\gamma = 12,52$	11,02	14,03	0,99	5	37,56
	$\sigma = 0,81$	0,71	0,91			
	$\alpha = 52,80$	46,21	59,39			
Suelo ⁽²⁾	$\gamma = 27,66$	25,19	30,13	0,94	3	4,00
	$\sigma = 1,12$	1,02	1,21			

- 1) Para todos los tratamientos, los estimadores de los parámetros α , γ y δ fueron significativos a 5% de probabilidad por la prueba de t.
- 2) Se utilizó como fuente de carbono, el carbono orgánico total del suelo.

Conclusiones

- Las harinas de huesos y carne y huesos presentan mayores cantidades totales de N, P y Ca, con relación Ca/P de la orden de 2:1. Los compuestos de lodo residual y residuos domiciliares muestran las menores relaciones C/N/P/S.

- El compuesto de residuo domiciliar presenta menor cantidad de C orgánico total, pero con mayor índice de humificación cuando comparado con el compuesto de lodo residual.
- El lodo residual presenta mayor cantidad de N total e N en las fracciones ácidos fúlvicos, húmicos y humina cuando comparado con el residuo domiciliar. No obstante, estos compuestos presentan relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, indicando para ambos compuestos formas orgánicas de N fácilmente biodegradables.
- Residuos *in natura* (harina de carne y huesos) presentan mayor evolución acumulada de C-CO₂ en comparación a los residuos en la forma de compuestos (lodo residual y residuo domiciliar).
- Los valores acumulados de C-CO₂ presentan correlación con las cantidades de C soluble en agua ($r = 0,57^{**}$), carbohidratos ($r = 0,69^{**}$) y relación C/N ($r = -0,56^{**}$).
- Los valores de la evolución de C-CO₂ se ajustan satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill, indicando altas tasas de respiración para el tratamiento con harina de carne y huesos sugieren inmovilización de nutrientes (N,P,S) en corto plazo, en relación a los residuos en la forma de compuestos.

Literatura citada

- AGGELIDES, S.M. & LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Biores. Technol.*, 71:253-259, 2000.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB Internacional, 1989. 171 p.:il.
- ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 Ed. Madison: Soil Science Society of America. ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1191-1192, 1988.
- BRASIL. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária, Decreto No. 4.954, 2004. 45p.
- BRINK, R.H.; DUBACH, P. & LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. *Soil. Sci.*, 89:157-166, 1960.
- DEYDIER, E.; GUILLET, R.; SARDA, S.; SHARROCK, P. Physical and chemical characterisation of crude meat and bone meal combustion residue: "waste or raw material?". *J. Hazardous Materials*. 121:141-148, 2005.
- FREITAS, S.S.; CARDOSO, C.O.; CAMARGO, O.A.; LOPES, E.S. Mineralização e imobilização de nitrogênio em solo tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:243-248, 1988.
- GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M. ; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. São Paulo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.179-196.
- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. et al. The search for structure: setting the scene. In HAYES, M.H.B. et al. (Ed). *Humic substances II*. New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 3-31.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:237-240, 1991.

- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- KIEHL, E.J. Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2005. 234p.: il.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: Adubos e adubação. 3^{ar} ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.:il.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. San Diego CA.: Academic Press. 1995. 889 p.:il.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., (Eds). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EM-BRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.
- MORGAN, P.H.; MERCER L.P.; FLODIN N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72: 4327-4331, 1975.
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodos de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, 52:360-367, 1995.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.:il.
- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L.; & MOURA I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de eucalipto fertilizado com biossólido. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:623-639, 2004.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2000. 141p.:il.
- SIQUEIRA, J.O. Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. ABEAS, Lavras: ESAL, FAEPE. 1988, 236 p.:il.
- STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Willey & Sons. 1999 p. 66-68.

- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis. 1999. p 159-192.
- VAZ, L.M.S. & GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de *Eucalyptus grandis*: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. R. Bras. Ci. Solo, 26:747-758, 2002.
- XIN, T.H.; TRAINA, S.J. & LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. J. Environ. Qual., 21: 318-329, 1992.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.